# PNEUMATSKI TRANSPORTERI

- Pneumatski sistemi rukovanja materijalom predstavljaju bezbedan, pouzdan, ekonomičan i ekološki prihvatljiv način transporta materijala.
- Osnovna funkcija ovih sistema je transport materijala, ali pored toga, ovim sistemima može se obezbediti mešanje, razmena toplote, sušenje, hemijske reakcije.
- Sama ideja korišćenja pneumatskih transportera veoma je stara, ali se prvi pneumatski transporter pojavljuje tek krajem 19. veka, pri čemu se interes za ove transportere značajnije iskazuje tek posle II Svetskog rata. Medijum može biti neki odredjen gas (u zavisnosti od robe koja se transportuje), ali se najčešće koristi vazduh

## KLASIFIKACIJA PNEUMATSKIH TRANSPORTERA



***Primena***

- Pneumatska postrojenja primenjuju se u različitim oblastima: transportnim i uopšte logističkim procesima, industriji, rudarstvu, gradjevinarstvu,...
- Pneumatski transporteri pogodni su za utovar i istovar rasute robe u/iz brodova, vagona, a često se koriste za dopremu i otpremu robe u/iz silosa
- Pneumatski transport pogodan je za suve, lako pokretljive, sitno komadaste, zrnaste i prašinaste materijale (žitarice, cement, ugljena prašina, sitan ugalj, drvena piljevina, pepeo,...)
- Transportni kapaciteti ovih postrojenja su cca 300 t/h, dužine transporta do oko 2000 m, a visinske razlike koje se mogu savladati su do 100 m.

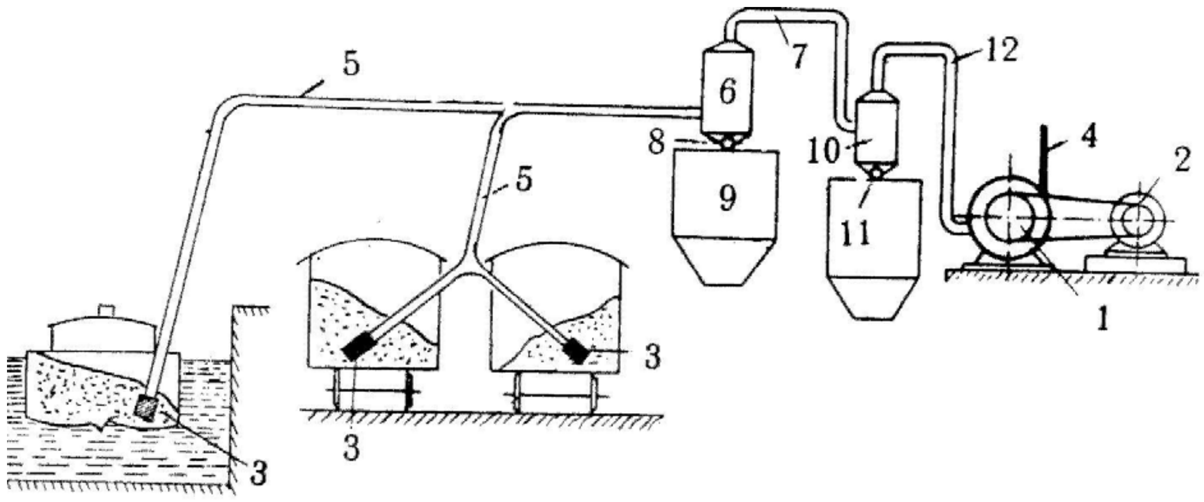
***Dobre osobine***

- Potpuno hermetički zatvoren sistem koji okolinu štiti od materijala koji se transportuje, a nema ni gubitaka robe pri transportu
- Mali prostor za ugradnju
- Moguća je potpuna automatizacija procesa
- Radna snaga koja opslužuje transporter praktično nije potrebna
- Usisni uredjaj može dohvatiti svaki ugao pa nije potrebno dodatno zgrtanje pri istovaru
- Ovi transporteri pogodni su pre svega za slučaj da je zahvatanje materijala potrebno vršiti na više mesta jednovremeno, a odlaganje na jednom mestu.
- Takođe, ovi sistemi izuzetno su pogodni za manipulaciju opasnih, posebno toksičnih materijala jer je veoma mala verovatnoća prosipanja materijala u okolinu, s obzirom da je reč o podpritisku na mestu zahvatanja.
- Ukoliko se želi još veći stepen zaštite od izlaska materijala u atmosferu izvode se sistemi u «zatvorenoj petlji»

## ***Loše osobine***

- Visoka potrošnja energije (1 - 4 kWh/t), što je više nego kod većine transportera (i do 10 puta), posebno za one vrste transporta koje koriste velike brzine radnog fluida
- Pri transportu abrazivnih materijala dolazi do brzog trošenja delova
- Vazduh se na izlasku iz postrojenja mora prečišćavati da bi se sprečilo zagađenje okoline.

**PRINCIP RADA: USISNI – VAKUUM TRANSPORTER**

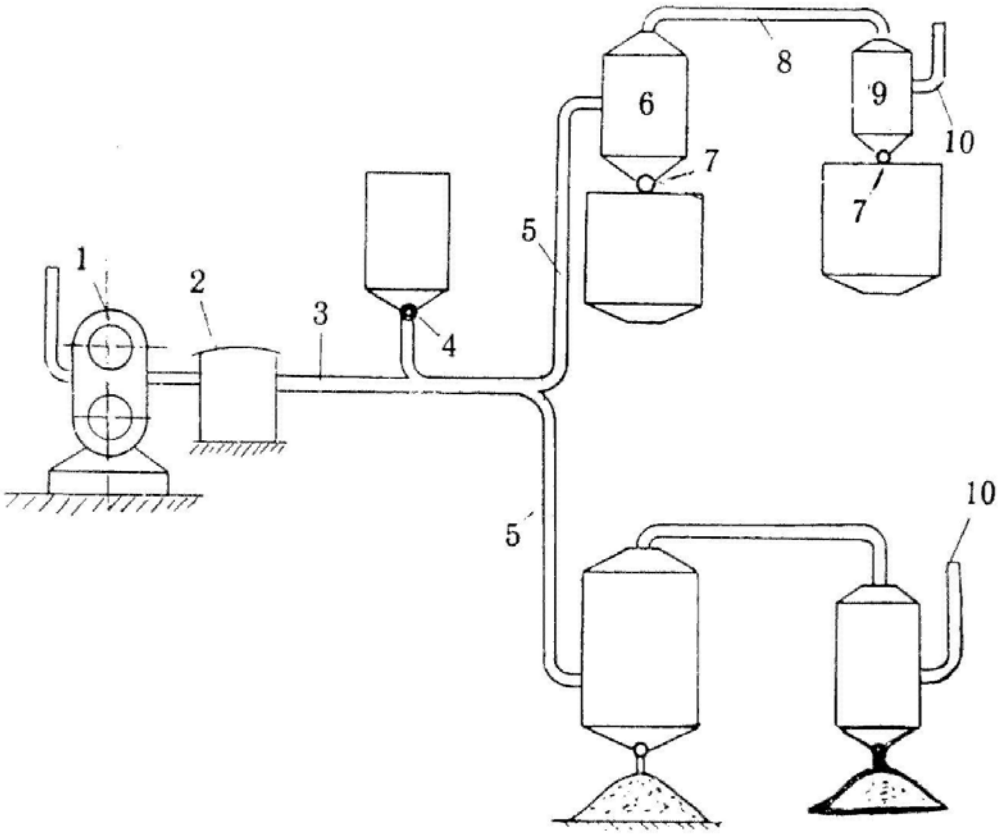



Sl. 1 - Usisni pneumatski uređaj

Princip rada: Vakuum pumpa **(1)** pogonjena motorom **(2)** isisava vazduh i stvara razliku pritiska izmedju sisaljke **(3)** i izlazne cevi **(4)**. Usled potpritiska u cevima **(5)**, vazduh krene u sisaljku povlačeći za sobom materijal uvodeći ga u sistem cevi **(5)**. Kada smeša vazduha i materijala dođe do risivera (istovarivača) **(6)**, struja vazduha se naglo usporava usled povećanja preseka. Tu vazduh menja pravac i odlazi kroz cev **(7)**, a materijal kao teži pada na dno risivera i kroz ventil **(8)** upada u bunker **(9)**. Sitne čestice i prašina koje su zajedno sa vazduhom ušle u cev **(7)** ponovo se usporavaju u prečistaču **(10)** odakle kroz ventil **(11)** ulaze u bunker. Čist vazduh, prošavši kroz cev **(12)** ulazi u vakuum pumpu **(1)** i izlazi kroz cev **(4)**

## PRINCIP RADA: POTISKUJUĆI – TRANSPORTERI SA NADPRITISKOM

- Veća proizvodnost i veća relacija transporta u odnosu na prethodne

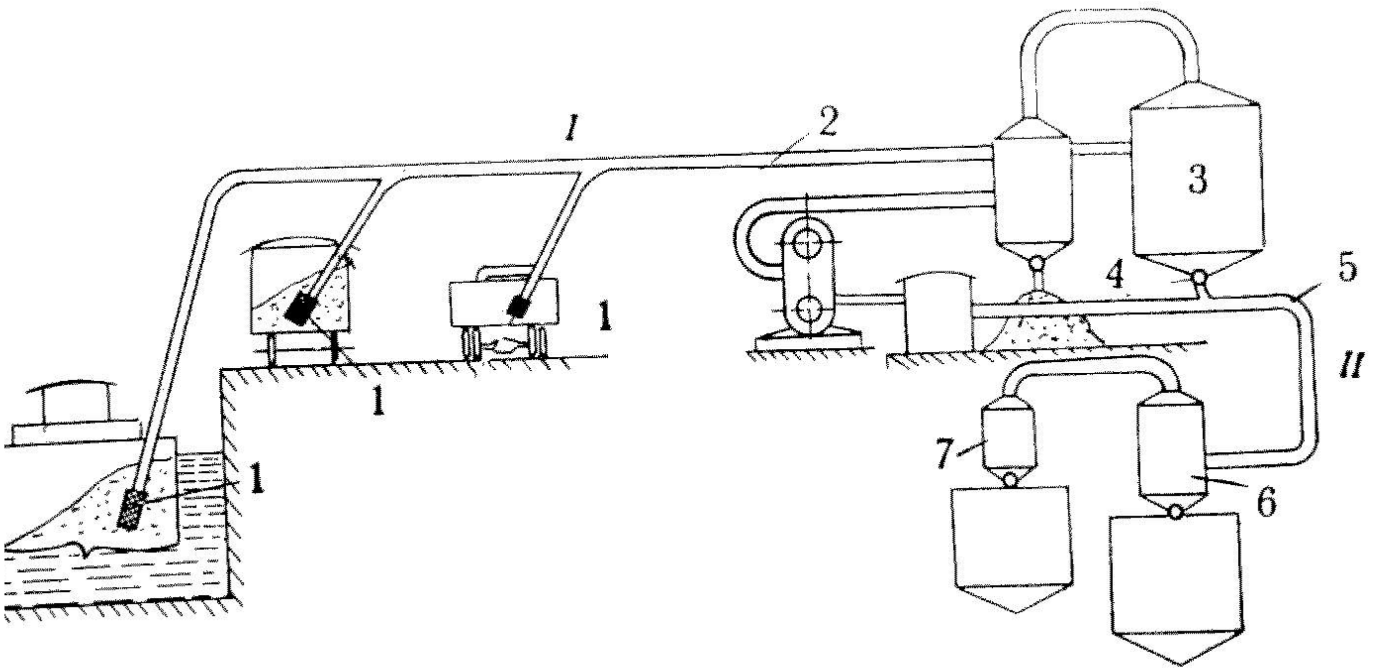



Sl. 2 - Potiskujući pneumatski uređaj

Princip rada: Kompresor **(1)** sabija vazduh koji se skuplja u rezervoaru **(2)** koji služi i kao amortizer za izravnanje pritiska. Iz rezervoara, usled razlike u pritiscima vazduh ulazi u cevovod **(3).** Na mestu gde vazduh ima dovoljnu brzinu da može povući i materijal, postavlja se sistem za ubacivanje materijala - utiskivač **(4)** koji u vazdušnu struju ubacuje materijal koji se transportuje. Materijal prošavši kroz cevovode **(5)** ulazi u jedan ili više istovarivača - risivera **(6)** gde usled smanjenja brzine materijal pada na dno i preko ventila **(7)** izlazi Vazduh pomešan sa prašinom i sitnim česticama odlazi dalje u cevovod **(8)** gde se u prečistaču **(9)** izdvaja prašina i preostali delići, a prečišćen vazduh izlazi u atmosferu kroz cev **(10)**

## PRINCIP RADA: KOMBINOVANI PNEUMATSKI UREĐAJ

- Ovaj sistem primenjuje se u situacijama kada je potrebno premeštati robu sa više mesta istovremeno i na veće relacije bilo po dužini ili po visini.
- Uređaj ima dva dela : usisni uređaj (1)-(2) – (3) – (4) i potiskujući uređaj (5)-(6)-(7).




Sl. 3 - Kombinovani pneumatski uređaj

# Pneumatski transporteri za rasute terete

- Imajući u vidu da je reč o smeši materijala i fluida (pri čemu je kod pneumatskih postrojenja fluid najčešće vazduh), transportni kapacitet može se izraziti kao:

$$Q_m = 3.6 \cdot F \cdot v_v \cdot \gamma_V \cdot \mu \, [t/h]$$

- Odnosno, analogno, prema (Suvajdžić 1973):

$$Q_m = 3.6 \cdot \gamma_V \cdot V_V \cdot \mu \, [t/h]$$

gde su:

$V_v$[m$^3$/sec] – protok vazduha
$\gamma_v$ [kg/m$^3$] – specifična masa vazduha
μ [-] – koeficijent smeše (maseni odnos materijala i vazduha)
$v_v$ [m/sec] – brzina vazduha u cevovodu
F [m$^2$] – unutrašnja površina cevi

- Uobičajena vrednost koeficijenta smeše pri lebdećem kretanju čestica materijala kreće se u granicama μ = 10 ÷ 30, a u pojedinim slučajevima i do 50. Brzina vazdušne struje u ovom slučaju je u opsegu od 15 [m/s] do 30 [m/s], i mora biti veća od brzine materijala za najmanje cca 50%. Ukoliko se pak radi o višim koncentracijama, gde je koeficijent smeše μ > 100, kada materijal "teče" nošen fluidom, a ne lebdi, brzina vazdušne struje je mnogo manja tako da gotovo odgovara brzini materijala, i kreće se u opsegu od 0.5 [m/s] do 5 [m/s] (Pfeifer i dr. 1998).

- U suštini, minimalna brzina vazduha mora biti dovoljna da sila pritiska koju vazdušna struja stvara održi česticu nekog materijala u lebdećem položaju, odnosno da je pokrene u smeru kretanja struje. Odnosno, uslov lebdenja čestice mase m, čija je napadna površina F (Вайнсон А.А. 1989):

$$m \cdot g = C_a \cdot \gamma_v \cdot F \cdot v_v^2$$

gde se koeficijentom $C_a$ opisuje oblik i veličina čestice.

- U literaturi se mogu naći različiti pristupi utvrđivanju veličina koje su od značaja za proračun transportnog kapaciteta ovih sistema i sa time povezanih veličina, a ovde prezentirani koncepti bazirani su na pristupima koje navode (Suvajdžić 1973), odnosno (Pfeifer i dr. 1998).
- Ono što je karakteristika gotovo svih pristupa jeste da se kao ulazne veličine deklarišu transportni kapacitet, konfiguracija trase i vrsta materijala, a cilj proračuna je utvrđivanje potrebnog pritiska u sistemu, prečnik cevovoda i nominalne snage.

## *1.Pristup proračunu prema (Suvajdžić 1973)*

### REDUKOVANA DUŽINA TRANSPORTA

$$L_{red} = \sum l_H + \sum l_v + \sum l_{kr} + \sum l_s \ [m]$$

- $l_H$ [m] – dužina horizontalnog dela cevovoda,
- $l_v$ [m] – dužna vertikalnog dela cevovoda
- $l_{kr}$ [m] – ekvivalentna dužina krivina,
- $l_s$ [m] – ekvivalentna dužina skretanja – račvanja (za prašinaste materijale $l_s$=8[m])

U tabeli u nastavku date su ekvivalentne dužine krivina

*Tab. Ekvivalentne dužine krivina (za uglove od $\alpha$=90$^{o}$)*

| VRSTA MATERIJALA | EKVIVALENTNE DUŽINE KRIVINA ($l_{kr}$ [m]) ZA ODGOVARAJUĆE ODNOSE r/d (PREČNIK KRIVINE / UNUTRAŠNJI PREČNIK CEVI) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 4 | 6 | 10 | 20 |
| Prašinasti | 4÷8 | 5÷10 | 6÷10 | 8÷10 |
| Zrnasti jednoličan | | 8÷10 | 12÷16 | 16÷20 |
| Sitan nejednoličan | | | 28÷35 | 38÷45 |
| Krupan nejednoličan | | | 60 ÷80 | 70÷90 |

## BRZINA STRUJANJA VAZDUHA

- Kod racionalne potrošnje energije ova brzina treba da je nešto iznad kritične brzine (potrebne za lebdenje), odnosno:

$$v_v > v_k = C_a \sqrt{\frac{\gamma_m}{\gamma_v}} \cdot a' \qquad [m/s]$$

- a' [m] – dimenzija komada materijala
- $C_a$ – koeficijent karakterističan za materijal (oblik, veličina, površina), proporcionalan prečniku komada materijala koji se za veličine prečnika 0.00001÷0.07 [m], kreće u opsegu $C_a \cong 10 \div 170$, a za materijal čiji su komadići u obliku kugle prečnika a'=0.005÷0.07 [m], $C_a \cong 170$

- Vrednosti značajnijih parametara relevantnih za proračun, za karakteristične materijale, date su u tabeli.

***Tab*** Vrednosti parametara za karakteristične materijale

| VRSTA MATERIJALA | KRAKTERISTIKA MATERIJALA | ZAPREMINSKA MASA [kg/m$^3$] | BRZINA LEBDENJA U STRUJI VAZDUHA [m/s] |
|---|---|---|---|
| Pšenica | čista | 800 | 9.8 |
| Ječam | - | 650 | 8.7 |
| Kukuruz | - | 730 | 8.9÷9.5 |
| Seme pamuka | - | 600 | 9.5 |
| Laneno seme | očišćeno | 660 | 5.2 |
| Komadasti ugalj | srednji | 620 | 10.6÷11 |
| Komadasti ugalj | sitan | 750 | 8.7 |
| Bukova pilotina | vlažna | 750 | 6.8 |

- Za specifičnu masu vazduha pri pritisku od 1(bar) može se uzeti da je $\gamma_v$=1.2 kg/m$^3$. Takođe, pri grubom proračunu, može se uzeti da specifična masa vazduha u vertikalnom delu transportera, za postrojenja sa nadpritiskom, ima vrednost od $\gamma_v$ =1.6÷2 (kg/m$^3$), a kod usisnog uređaja $\gamma_v$ =0.8÷0.95 (kg/m$^3$)
- Za cevovod u kome je pritisak blizak vrednosti 1(bar), a gde je $\gamma_v$=1 (kg/m$^3$) konstantno, brzina vazduha se može izraziti na sledeći način:

$$v_v = C_{a1} \cdot \sqrt{\gamma_m} + C_{a2} \cdot L_{red} \ [m/s]$$

gde su:

- $C_{a1}$, $C_{a2}$ – koeficijenti koji u obzir uzimaju dimenzije materijala - vrednosti za $C_{a1}$ navedene su u tabeli, a $C_{a2} = (2 \div 5)10^{-5}$ (pri čemu za suve i prašinaste materijale važe manje vrednosti)

***Tab.*** Vrednosti koeficijenta $C_{a1}$

| VRSTA MATERIJALA | MAKSIMALNA DIMENZIJA | $C_{a1}$ |
|---|---|---|
| Prašinasti | 1÷1000 μm | 10÷16 |
| Zrnasti ujednačen | 1÷10 mm | 17÷20 |
| Sitnokomadasti ujednačen | 10÷20 mm | 17÷22 |
| Srednjekomadasti ujednačen | 40÷80 mm | 22÷25 |

❑ Kod usisnih uređaja u izrazu $v_v = C_{a1} \cdot \sqrt{\gamma_m} + C_{a2} \cdot L_{red}\ [m/s]$ prvi sabirak se izostavlja pa izraz ima oblik

$$v_v = C_{a2} \cdot L_{red}\ [m/s]$$

## ODREĐIVANJE SMEŠE VAZDUHA I MATERIJALA

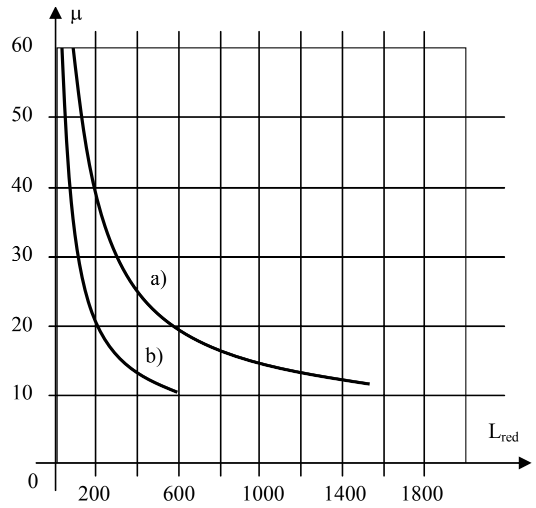
❑ Kod većih postrojenja koeficijent smeše materijala i vazduha zavisi od prečnika cevi d, pritiska p i redukovane dužine $L_{red}$.

❑ Pritisak p zavisi od vrste postrojenja:

– Kod postrojenja sa visokim nadpritiskom $p = 2.5 \div 5$ [bar]
– Kod postrojenja sa srednjim nadpritiskom $p = 1.3 \div 2.2$ [bar]
– Kod postrojenja sa usisnim dejstvom $p = 0.2 \div 0.45$ [bar]

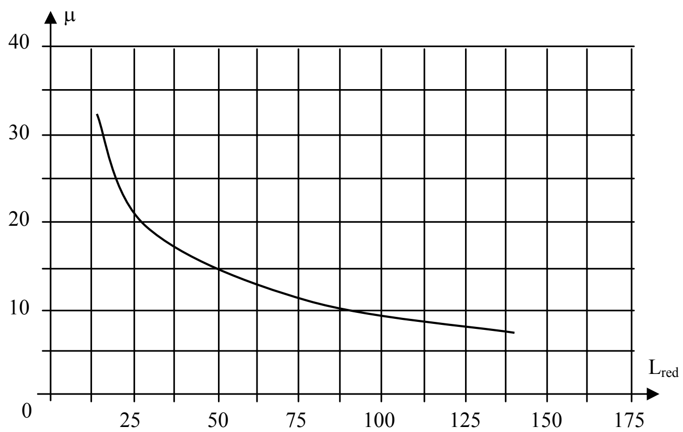
❑ Za određivanje koeficijenta smeše materijala i vazduha (μ) mogu se koristiti dijagrami na slikama, kao i podaci u tabeli.

- Dijagrami na slici (odnose se na postrojenja sa nadpritiskom, pri čemu se kriva a) odnosi na suve i lako pokretljive materijale, a kriva b) na vlažne i jako habajuće materijale.




Koeficijent smeše (μ) za postrojenja sa nadpritiskom

- Dijagram na slici odnosi se na postrojenja sa podpritiskom – usisna, za slučaj transporta žitarica.




Koeficijent smeše (μ) za postrojenja sa podpritiskom pri transportu žitarica

- Podaci u tabeli odnose se na materijale koji se najčešće manipulišu pneumatskim sistemima transporta i tu u slučaju prosečnih visina dizanja i prosečne dužine transportera (visine dizanja cca 20-30 m, i dužine transporta cca 300-500 m).

***Tab.*** Koeficijent smeše za tipične materijale pri prosečnim uslovima

| VRSTA MATERIJALA | KONCENTRACIJA SMEŠE ($\mu$) | RADNA BRZINA VAZDUHA $v_V$[m/sec] |
|---|---|---|
| Zrnasti materijal | 5÷25 | 22÷26 |
| Cement | 20÷100 | 9÷25 |
| Ugljena prašina | 20÷100 | 6÷20 |
| Pesak | 3÷20 | 30÷70 |

## UTVRĐIVANJE PROTOKA (KOLIČINE) VAZDUHA I UNUTRAŠNJEG PREČNIKA CEVI

- Saglasno izrazu kojim se definiše transportni kapacitet sistema, protok vazduha $V_V$ moguće je utvrditi kao:

$$V_V = \frac{Q_m}{3.6 \cdot \gamma_V \cdot \mu} \, [m^3/s]$$

- Isto tako, protok vazduha moguće je izraziti na bazi relacije:

$$V_V = \frac{d^2 \pi}{4} v_V \, [m^3/s]$$

- Otuda je potrebni unutrašnji prečnik cevi, imajući u vidu prethodne izraze, moguće utvrditi kao:

$$d = \sqrt{\frac{4V_V}{\pi v_V}} \text{ ,odnosno } d = \sqrt{\frac{4Q_m}{3.6\gamma_V v_V \mu}} \; [m]$$

- Pri tome treba imati u vidu da unutrašnji prečnik cevi dobijen na bazi izraza predstavlja teorijsku vrednost, a stvarni potrebni unutrašnji prečnik cevi usvaja se na bazi standardnih vrednosti.

## UTVRĐIVANJE POTREBNOG PRITISKA VAZDUHA U CEVOVODU

- Na osnovu rezultata teorijskih i eksperimentalnih istraživanja formulisani su sledeći izrazi za utvrđivanje početnog pritiska pneumatskih transportera.
- Za postrojenja sa nadpritiskom:

$$p_p = p_k \sqrt{1 + \frac{\lambda L_{red} v_V^2}{d}}$$

- Za usisna postrojenja:

$$p_p' = p_k' \sqrt{1 - \frac{\lambda L_{red} v_V^2}{d}}$$

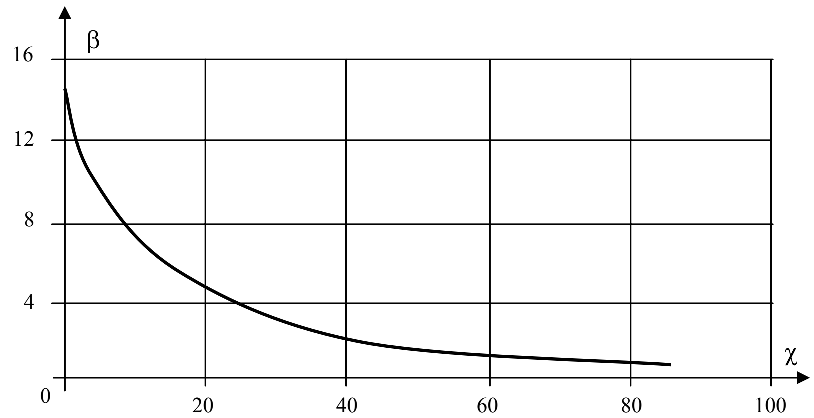
gde su, pored već prethodno korišćenih oznaka:

- $p_p$, $p_k$ ($p'_p$, $p'_k$) – apsolutni pritisak vazduha na početku odnosno na kraju potiskujućeg (usisnog) pneumatskog cevovoda,

- d [m] – prečnik cevi,
- λ – koeficijent otpora vazduha u cevima λ= β μ

❑ Pri tome, koeficijent β u prethodnom izrazu, kod potiskujućih pneumatskih transportera, funkcija je koeficijenta χ, kako je to prikazano dijagramom na slici. Vrednost koeficijenta χ utvrdjuje se korišćenjem izraza.

$$\chi = \frac{\mu L_{red} v_V^2}{d}$$




Zavisnost β od koeficijenta χ kod potiskujucih transportera

❑ Kod usisnih postrojenja vrednost koeficijenta β je konstantna i iznosi $\beta=1.5.10^{-7}$. Ukoliko se materijal transportuje na visinu H, otporima trenja koji se savlađuju pritiskom (podpritiskom) vazduha treba dodati i težinu stuba smeše materijala i vazduha po jedinici površine preseka vertikalnog dela cevi, odnosno:

$$p_H = \frac{H \cdot \gamma_V^{'} \cdot \mu}{10^4} \, [bar]$$

gde je:

- $\gamma_V^{'}$ - srednja specifična masa vazduha [kg/m³], na vertikalnom potezu

❑ Saglasno tome, navedeni izrazi za utvrđivanje početnog pritiska pneumatskih transportera prelaze u sledeći oblik:

❑ Za postrojenja sa nadpritiskom:

$$p_p = p_k \sqrt{1 + \frac{\beta \mu L_{red} v_V^2}{d}} \pm p_H > 1 \, [bar]$$

❑ Za usisna postrojenja:

$$p_p^{'} = p_k^{'} \sqrt{1 - \frac{\beta \mu L_{red} v_V^2}{d}} \pm p_H < 1 \, [bar]$$

## UTVRĐIVANJE SNAGE KOMPRESORA PUMPE

- Pod pretpostavkom izotermičkih procesa potrebna snaga kompresora pumpe računa se korišćenjem izraza (Suvajdžić 1973):

$$N = \frac{A_{is} \cdot V_o}{6120 \cdot \eta} \quad [KW]$$

- U gornjem izrazu, $A_{is}$ predstavlja specifičan rad za izotermičku kompresiju jednog kubnog metra vazduha,

$$A_{is} = 2303 \cdot p_o \log \frac{p_1}{p_o} [kgm/m^3]$$

Ostale veličine imaju sledeće značenje:

- $p_1$[bar] – pritisak pumpe (za potisne sisteme $p_1$>1, za usisne sisteme $p_1$<1). Ovaj pritisak utvrđuje se na bazi

$$p_1 = p_p \xi + \Delta p_v \quad (bar)$$

pri čemu je:

- $p_p$ [bar] – pogonski pritisak kod potiskujućeg sistema (prethodni izraz), pri čemu je kod usisnog sistema $p_p = p_o - p_p'$, što predstavlja pritisak na kraju cevovoda (utvrđivanje pritiska $p_p'$ realizuje se primenom prethodno datog izraza

- $\xi$ [–] – koeficijent gubitaka usled ubacivanja materijala, koji kod potiskujućeg sistema iznosi $\xi$ =1.15÷1.25, a kod usisnog uređaja $\xi$ =1.05÷ 1.10
- $\Delta p_v$ [bar] – pad pritiska u cevovodu potiskujućeg uređaja između pumpe i utiskivača materijala je $\Delta p_v$=0.3 bar, a kod usisnog uređaja gubitak pritiska između pumpe i filtera je $\Delta p_v$=0.02 bar
- $V_o$ [m$^3$/min] – potrebna količina usisanog vazduha koja se sračunava preko $V_1$

$$V_o = V_1 \cdot \xi_c \cdot 60 \quad (m^3 / min)$$

- $\xi_c$ [–] – koeficijent gubitaka vazduha u cevnoj mreži $\xi_c$ =1.1
- $p_o$ [bar] – atmosferski pritisak (1 bar)

❑ Kod usisnog uređaja proračun potrebne snage može se računati prema jednakosti za N, pri čemu se $A_{is}$, u zavisnosti od pritiska $p_1$, datog prethodnim izrazom, uzima prema tabeli.

***Tab.*** Specifični rad za izotermičku kompresiju i pritisak pumpe

| $p_1$ [bar] | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|---|---|---|---|---|
| $A_{is}$ [kgm/m$^3$] | 4700 | 4100 | 3500 | 2700 |

## *2.Pristup proračunu prema (Pfeifer i dr. 1998)*

- Predloženi pristup ima za cilj utvrđivanje potrebnog pritiska u sistemu, prečnika cevovoda, kao i nominalne snage postrojenja.
- Utvrđivanje navedenih veličina bazirano je na definisanim zahtevima koji podrazumevaju sledeće ulazne podatke: zahtevani kapacitet, vrstu robe i konfiguraciju trase.
- Kao i u prethodnom pristupu, i ovaj proračun je u velikoj meri baziran na iskustvenim podacima.

### POTREBAN PRITISAK VAZDUHA U CEVOVODU

- Potreban pritisak u sistemu posledica je potrebe savlađivanja pet vrsta otpora:

– otpora vazduha,
– otpora materijala,
– savlađivanja visinske razlike,
– otpora ubrzanja i
– otpora u krivinama

- Od ***suštinskog značaja*** za proračun su **otpor materijala**, **savlađivanje visinske razlike** i **otpor u krivinama**, a preostali se u obzir uzimaju preko odgovarajućih koeficijenata i uvećanja ovih osnovnih otpora.
- Potreban nadpritisak (podpritisak) u sistemu utvrđuje se na bazi izraza:

$$\Delta p = \mu \cdot K \cdot \frac{\gamma_V}{2} \cdot v_V^2$$

gde pored već korišćenih, uvedene oznake imaju sledeće značenje:

- Δp [bar] - potreban pritisak vazduha ($\Delta p \geq 0.5\,[\mathrm{bar}]$)

- $\mu$ - koeficijent mešavine, kao odnos masenog protoka materijala ($\dot{m}$ [kg/s]) i masenog protoka vazduha ($\dot{m}_V$ [kg/s]), odnosno ($\mu = \dot{m}/\dot{m}_V$ , $\mu$=10 - 30)
- $v_V$ [m/s]- brzina vazduha, $v_V$=15 – 30 m/s
- K[-] - koeficijent ukupnih otpora

❑ Koeficijent ukupnih otpora K utvrđuje se primenom sledećeg izraza:

$$K = \lambda_G \frac{l_1}{d} \cdot \frac{l}{l_1} + \frac{2hg}{\frac{v_G}{v_V} \cdot v_V^2} + 2\frac{v_G}{v_V}\left(1 + \frac{i}{2}\right)$$

❑ Prvi sabirak u izrazu obuhvata otpore materijala, drugi član otpore podizanja materijala na visinu h, a treći uključuje otpore u krivinama.

❑ Oznake uvedene u prethodnom izrazu imaju sledeće značenje:

- $\lambda_G \frac{l_1}{d}$ [-] - specifični gubici za cev dužine 1m i prečnika d (iznose 0.05 – 0.15, pri čemu se manje vrednosti odnose na materijale manje specifične mase)
- l [m] - dužina cevi
- $v_G$,$v_V$[m/s] - brzina materijala, odnosno vazduha, pri čemu odnos ($v_G/v_V$ iznosi 0.7-0.8 m/s, a manje vrednosti se odnose na prašinaste materijale
- i [-] - broj krivina

- Takođe, brzina vazduha $v_V$ mora biti veća od brzine lebdenja čestica $v_S$, tj. $v_V \geq 1.5 v_S$. Brzina lebdenja čestice oblika kugle data je izrazom:

$$v_S = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g d_k \gamma_m}{c_W \gamma_V}}$$

gde su:

- $d_K$ [mm] - veličina čestice
- $c_W$ [-] - koeficijent otpora vazduha $c_W \approx 0.6$

**POTREBAN PREČNIK CEVOVODA**

- Prečnik cevovoda (d [m]) moguće je utvrditi na bazi izraza

$$d = \sqrt{\frac{2 \dot{m} K v_V}{\pi \cdot \Delta p}}$$

- Prethodni izrazi pružaju mogućnost i za izvođenje sledeće relacije

$$\Delta p = \mu K \frac{\gamma_V}{2} v_V^2 \quad \text{i} \quad \mu = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_V} = \frac{\dot{m}}{\gamma_V \frac{\pi d^2}{4} v_V}$$

## *Metod proračuna snage prema (Pfeifer i dr. 1998)*

- Nakon utvrđivanja potrebnog nadpritiska (podpritiska) u sistemu Δp i nakon određivanja potrebnog prečnika cevovoda d, potrebnu snagu sistema moguće je odrediti korišćenjem izraza:

$$N = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}_V}{1000 \cdot \eta} \, [kW]$$

gde $\dot{V}_V \, [m^3]$ označava zapreminski protok vazduha koji se utvrđuje primenom relacije:

$$\dot{V}_V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_V \, [\frac{m^3}{s}]$$

# Hidraulički transporteri za rasute terete

- Koncept proračuna hidrauličkih transportera bazira se na sličnim metodološkim postavkama kao i proračun pneumatskih transportera, a razlike su posledica činjenice da je pri transportu čvrstih materija medijum prenosa tečnost – najčešće voda.
- Ovaj transportni sistem primenjuje se za masovne terete kakvi su pre svega: pesak, šljunak, ugalj i određene rude. Naravno, hidraulični sistem transporta je tipičan i za prevoz masovnih tečnih tereta – voda, nafta, derivati nafte,...
- Proračun hidrauličkih transportera podrazumeva određivanje brzine smeše, koncentraciju smeše i potrošnju vode, prečnik cevovoda i pritisak u cevovodu. Kao i u prethodnom slučaju osnovne ulazne veličine su zahtevani transportni kapacitet, karakteristike materijala i oblik trase.

### ZAPREMINSKI PROTOK

- Zapreminski protok smeše vode i materijala $V_S$ može se izraziti kao (Suvajdžić 1973):

$$V_S = V_m \frac{1+\xi_V}{\varphi_Z} [m^3/h]$$

gde su:

- $V_m [m^3/h]$ - zapreminski protok materijala pre mešanja sa vodom
- $\xi_V$ [-] - koeficijent specifične potrošnje vode ($\xi_V = V_V/V_{m'} = 2\text{-}5$), pri čemu $V_{m'}$ označava količinu materijala koji se transportuje, a $V_V$ potrošnju vode ($m^3/h$)
- $\varphi_Z$ [-] - stepen zapreminske rastrešenosti materijala koji predstavlja odnos $\varphi_Z = V_m/V_{m'}$

## PREČNIK CEVOVODA

- Zapreminski protok smeše moguće je izračunati kao:

$$V_S = 3600 \frac{D^2 \pi}{4} \cdot v_S \; [m^3 / h]$$

- D [m] - prečnik cevovoda
- $v_S$ [m/s] - brzina kretanja smeše u cevi, koja mora biti veća od kritične brzine lebdenja materijala u fluidu $v_K$, odnosno $v_S = (3 - 4) v_K$

- Kritična brzina lebdenja materijala u fluidu određuje se saglasno narednom izrazu:

$$v_K = 0.55 \cdot \sqrt{d_K (\gamma_m - 1)} \; [m / s]$$

gde $d_K$ predstavlja veličinu čestice.

- Očigledno, korišćenjem izraza za $V_S$ i za $v_K$, moguće je utvrditi potreban prečnik cevovoda.

## PRITISAK U CEVOVODU

- Pritisak u horizontalnoj cevi sa slobodnim izlazom funkcija je otpora u cevi (λ), brzine strujanja smeše ($v_S$), dužine (L) i prečnika cevi (D).
- Za prosečne uslove eksploatacije otpori u cevi kreću se u granicama λ = 0.04– 0.045

$$\Delta p = \left( L \frac{\lambda}{D} + 1 \right) \frac{v_s^2}{200} \; (bar)$$

- Prethodni izrazi odnose se na horizontalne transportere, a može se usvojiti da svakom savlađivanju visinske razlike od 1 m, odgovara horizontalna dužina transporta od 25 do 35 m.